aci avances en ciencias e ingenierías

Artículo/Article
Vol. 17, nro. 1
e2829

Casos de estudio de climatología sinóptica ecuatorial. Estudio de algunos casos relevantes del Ecuador continental

Tomàs Molina Bosch[1]*, Francisco Javier Méndez Bravo[1]

[1]Universitat de Barcelona, Facultat de Física, Barcelona, Spain.

*Autor correspondiente/Corresponding author, email: tomasmolinab@ub.edu

Case studies of equatorial synoptic climatology. Study of some relevant cases of continental Ecuador

Resumen

En países de latitudes medias se han realizado diversos catálogos para clasificar las situaciones sinópticas propias de la región. Sin embargo, en Sudamérica Tropical y Ecuador, las investigaciones sobre la clasificación de situaciones sinópticas son escasas. El objetivo de este trabajo es analizar casos de estudio sobre la influencia en Ecuador de las principales características climatológicas de Sudamérica Tropical, incluyendo la Zona de Convergencia Intertropical, el Anticiclón del Pacífico Sudoriental, el Anticiclón del Atlántico Norte y el Anticiclón del Atlántico Sur, así como los fenómenos meteorológicos El Niño y El Veranillo del Niño. La finalidad es desarrollar una clasificación de situaciones sinópticas específicas en superficie que afectan al Ecuador.

Para los casos de estudio, se procesaron e interpretaron reanálisis atmosféricas ERA-Interim del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a medio plazo, considerando las componentes horizontales del viento y la presión atmosférica en superficie, para los años 1998, 2000, 2018 y 2019. Se analizaron siete situaciones del tiempo en superficie en función de las ocho principales direcciones de la rosa de los vientos, tomando en cuenta la migración estacional, los cambios promedio en la ubicación y extensión de las características climatológicas y la influencia de los principales fenómenos meteorológicos. Se elaboraron mapas de presión atmosférica y de vectores del viento en superficie para Sudamérica Tropical y Ecuador continental, representando algunas de las principales advecciones sinópticas en superficie que afectan la región Costa y Oriente de Ecuador. Como resultado, se presenta una clasificación de situaciones sinópticas en superficie para estas regiones, basada en las principales características climatológicas sinópticas semipermanentes y en los fenómenos meteorológicos más representativos de Sudamérica Tropical.

Palabras clave: climatología sinóptica, Ecuador continental, clasificación de situaciones sinópticas, clima de Ecuador, reanálisis Atmosféricos ERA-Interim.

Abstract

In mid-latitude countries, several catalogues have been developed to classify the synoptic situations typical of the region. However, research on the classification of synoptic situations in Tropical South America and Ecuador remains scarce. This study aims to analyze case studies regarding on the influence of the main climatological features of Tropical South America on Ecuador, including the Intertropical





Editado por / Edited by: Fernando Nicolás Vela

Recibido / Received: 11/11/2022

Aceptado / Accepted: 02/10/2024

Publicado en línea / Published online: 29/01/2025

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



Convergence Zone, the Southeast Pacific High, the North Atlantic High, and the South Atlantic High, as well as the meteorological phenomena El Niño and El Veranillo del Niño. The objective is to develop a classification of specific surface synoptic situations affecting Ecuador.

For the case studies, ERA-Interim atmospheric reanalyses from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts were processed and interpreted, considering horizontal wind components and surface air pressure for the years 1998, 2000, 2018, and 2019. Seven surface weather situations were examined based on the eight main wind rose directions, considering seasonal migration, average changes in the location and extent of climatological features, and the influence of major meteorological phenomena. Atmospheric pressure and surface wind vector maps of Tropical South America and continental Ecuador were generated, depicting some of the main synoptic surface advections affecting Ecuador's coastal and eastern regions. As a result, a classification of surface synoptic situations for these regions is presented, based on the primary semi-permanent synoptic climatological features and the most representative meteorological phenomena of Tropical South America.

Keywords: synoptic climatology, continental Ecuador, classification of synoptic situations, climate of Ecuador, ERA-Interim Atmospheric reanalyses.

INTRODUCCIÓN

Diversos trabajos científicos han empleado la climatología sinóptica como una disciplina para obtener catálogos de situaciones sinópticas. En particular, en países localizados en latitudes medias, como Argentina [1], la península ibérica [2] y los Estados Unidos de Norteamérica [3].

La climatología sinóptica fundamenta su estudio en la comprensión de la atmósfera como una unidad física, relacionando tanto la circulación general como las características climatológicas regionales [4]. Los métodos empleados son experimentales; uno de los más utilizados es la elaboración de mapas de situaciones sinópticas [5].

Un catálogo de situaciones sinópticas constituye la clasificación ordenada de mapas de las situaciones sinópticas más representativas de una región. A su vez, una situación sinóptica es el conjunto de configuraciones de isobaras, líneas de corriente o vectores del viento, para un determinado instante, en un área superior a un millón de kilómetros cuadrados [6].

Un caso destacado, en la elaboración de catálogos sinópticos para la península ibérica, es el de los denominados "Los mapas del tiempo". Martín Vide simplifica la realidad atmosférica de la península ibérica en una clasificación de dieciséis situaciones sinópticas. Es preciso argumentar que, para el Ecuador, país de Sudamérica Tropical, no se ha evidenciado la elaboración de catálogos de situaciones sinópticas y trabajos científicos enfocados en la realización de análisis de situaciones sinópticas [7].

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



Climatología sinóptica de Sudamérica Tropical y del Ecuador continental

Una investigación enfocada en el estudio de la convección, donde se procesaron imágenes del satélite geoestacionario GOES y los reanálisis de los Centros Nacionales para la Predicción Ambiental (NCEP) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), identificó y describió las principales características climatológicas de Sudamérica Tropical, para un periodo de 15 años. Una de las principales características analizadas fue la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), un sistema sinóptico semipermanente cuya dinámica varía en función de cada estación [8].

Esta zona de baja presión representa una de las características más importantes del acoplamiento termodinámico y dinámico de los hemisferios norte y sur. Identifica el ecuador (meteorológico), donde los alisios convergen y dan lugar a convección, nubosidad y precipitación [9]. La posición promedio de la ZCIT, en el Océano Pacífico Oriental, varía de manera estacional. En el invierno austral (invierno del hemisferio sur), se localiza a 10° N (norte máximo), mientras que, en el verano austral (verano del hemisferio sur), lo hace entre los 2.5° y 5.0° N (sur máximo). Su mayor intensidad la alcanza en el invierno austral y afecta a las costas de Ecuador y Colombia a través de ascensos de masas de aire, provocados por la convergencia en superficie [10].

Empleando los reanálisis del NCEP, de alta resolución (0.313°), un estudio llevado a cabo en la costa oeste de América del Sur sobre el Océano Pacífico Sudoriental describe, a escala sinóptica, la presencia semipermanente de un anticiclón denominado como "Anticiclón del Pacífico Sudoriental" (APSor) [11]. Esta característica climatológica, se encuentra limitada por el aumento de espesor de la troposfera ecuatorial. Este anticiclón es el responsable de impulsar el viento hacia la Costa del Ecuador, a través de una gran porción de la costa de Sudamérica [12].

A lo largo del año, el centro del APSor cambia de posición e intensidad. Longitudinalmente, lo hace de manera ligera en ubicación (100°W - 90°W) e intensidad (1021 - 1024 hPa), siendo un poco más intenso en primavera. Este ligero cambio en longitud explica el motivo por el cual el APSor se emplaza principalmente sobre el océano Pacífico Sudoriental [11]. Los cambios en la latitud del APSor son estacionales, marcados y están en comunión con la ZCIT. De este modo, en el invierno austral, el centro del APSor se localiza a 27° S (norte máximo), mientras que, en el verano austral, se ubica en los 35° S (sur máximo). Avanza y retrocede durante la transición entre el invierno y el verano [13].

Aunque se localicen a gran distancia del Ecuador, tanto el anticiclón del océano Atlántico Norte (AAN), como el anticiclón del océano Atlántico Sur (AAS), son características importantes en la climatología sinóptica de Sudamérica Tropical. Estos son la fuente principal de los vientos alisios (vientos del noreste y sureste), que constantemente atraviesan la región amazónica del Ecuador y alcanzan la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, generando ascensos, humedad y precipitaciones [14].

Los vientos alisios siguen los gradientes de presión entre los AAN y AAS, que varían a lo largo del año. Ambos anticiclones, ganan y pierden extensión e intensidad en función de las estaciones y de manera sincrónica. En los meses de julio y agosto (invierno austral), los anticiclones presentan su mayor extensión e intensidad; en febrero, una dimensión

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



promedio, y su mínimo absoluto lo alcanzan en marzo y octubre. El exceso de presión generado entre julio y agosto sobre el océano Atlántico Tropical produce un gradiente de presión zonal que deriva en situaciones sinópticas particulares con advecciones en superficie del este en el Ecuador [15].

El fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur (ENSO) representan fenómenos oceanográficos y atmosféricos de importancia en la variabilidad climática interanual del océano Pacífico Tropical. Inciden en la circulación atmosférica general y en el aumento o disminución de las precipitaciones en los países de la costa oeste de Sudamérica. Se reconocen dos fases durante este evento: una fase fría, La Niña, y una cálida, El Niño [16].

La fase fría, La Niña, produce cambios muy ligeros en la configuración de la dinámica oceanográfica y atmosférica de la región con la presencia de vientos alisios sobre el Oriente del Ecuador. Por el contrario, El Niño modifica de forma drástica las características climáticas de la región, ya que se produce de manera periódica durante el verano austral y afecta principalmente a la Costa Ecuatoriana [17].

Cuando el APSor se desplaza hacia el SO, los alisios pierden intensidad y la ZCIT ubicada en su sur máximo genera advecciones del oeste húmedas y cálidas. Estas alcanzan a la vertiente occidental de la cordillera de los Andes y producen precipitaciones intensas que derivan en inundaciones de gran impacto para la Costa ecuatoriana [18].

El Veranillo del Niño, denominado así por agricultores del Sur del Ecuador, es un fenómeno meteorológico particular que sucede de manera ocasional, normalmente durante las tres primeras semanas de noviembre [15]. La presencia de un gradiente de presión, en fuerte aumento hacia el océano Pacífico y los alisios debilitados más de lo habitual, producen una situación sinóptica del norte en la región suroriente del Ecuador.

Ubicación, descripción geográfica y climatológica del Ecuador continental

Como se observa en la Figura 1, el Ecuador continental pertenece a Sudamérica Tropical, se ubica en la zona ecuatorial y está atravesado por la línea equinoccial [19] y [20]. Tanto la región Costa como el Oriente del Ecuador se localizan entre los 0 y 1000 m.s.n.m; mientras que la región sierra se sitúa entre los 1000 y 6242 m.s.n.m (altitud del volcán Chimborazo), como se aprecia en la Figura 1. Esta marcada diferencia de altitud, entre las regiones Costa y Oriente, en comparación con la Sierra ecuatoriana, caracteriza y diferencia la geomorfología, biogeografía y climatología del paisaje geográfico del Ecuador.

La cordillera de los Andes actúa como una barrera orográfica longitudinal de elevada altitud y se convierte en una verdadera división climática en el Ecuador. Esta barrera, en gran medida, impide que el viento en superficie atraviese zonalmente por completo al país, ya que las montañas de la sierra ecuatoriana impiden su paso [21].

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829

aci
avances
en ciencias e
ingenierías

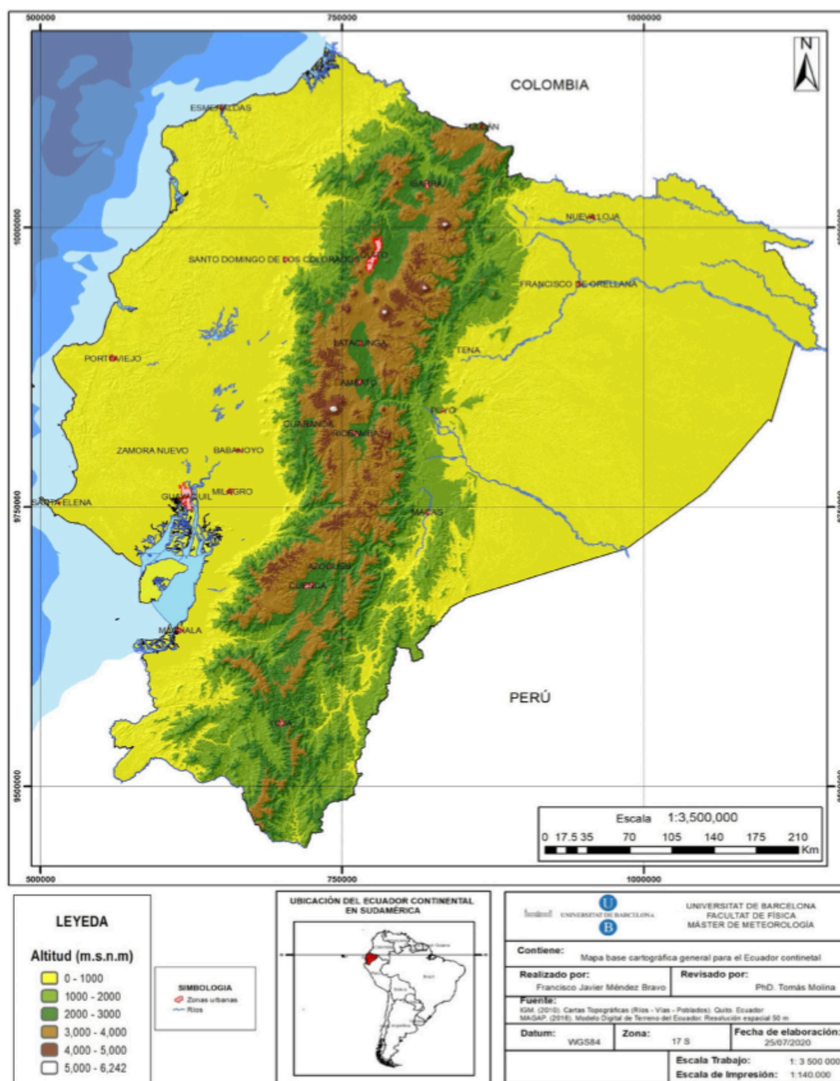


Figura 1. Mapa de localización geográfica y principales elementos cartográficos del Ecuador continental. Información cartográfica proporcionada por [19] y [20]. Mapa elaborado por: MSc. Francisco Javier Méndez Bravo.

Se crean así, dos regiones climáticas donde el viento en superficie puede ingresar con facilidad: la Costa y el Oriente ecuatoriano. Debido a su posición geográfica y a la configuración de las características climatológicas de gran escala, la costa permite el ingreso del viento en superficie del oeste, y el oriente permite el ingreso del viento en superficie del este del Ecuador [15]. El presente trabajo analiza y describe el viento sinóptico en superficie del Ecuador. Por este motivo, su estudio se enfoca en la región Costa y Oriente del Ecuador.

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829

En determinadas situaciones sinópticas, la ubicación y la marcada altitud de la cordillera de los Andes permite el ascenso de las masas de aire que provienen tanto del Océano Pacífico como de la región Amazónica. Esto provoca la generación de nubes que derivan en precipitaciones abundantes sobre las vertientes externas de la cordillera de los Andes [22]. Esto se puede observar en la Figura 2, referente a la distribución espacial de la precipitación media anual en el Ecuador.

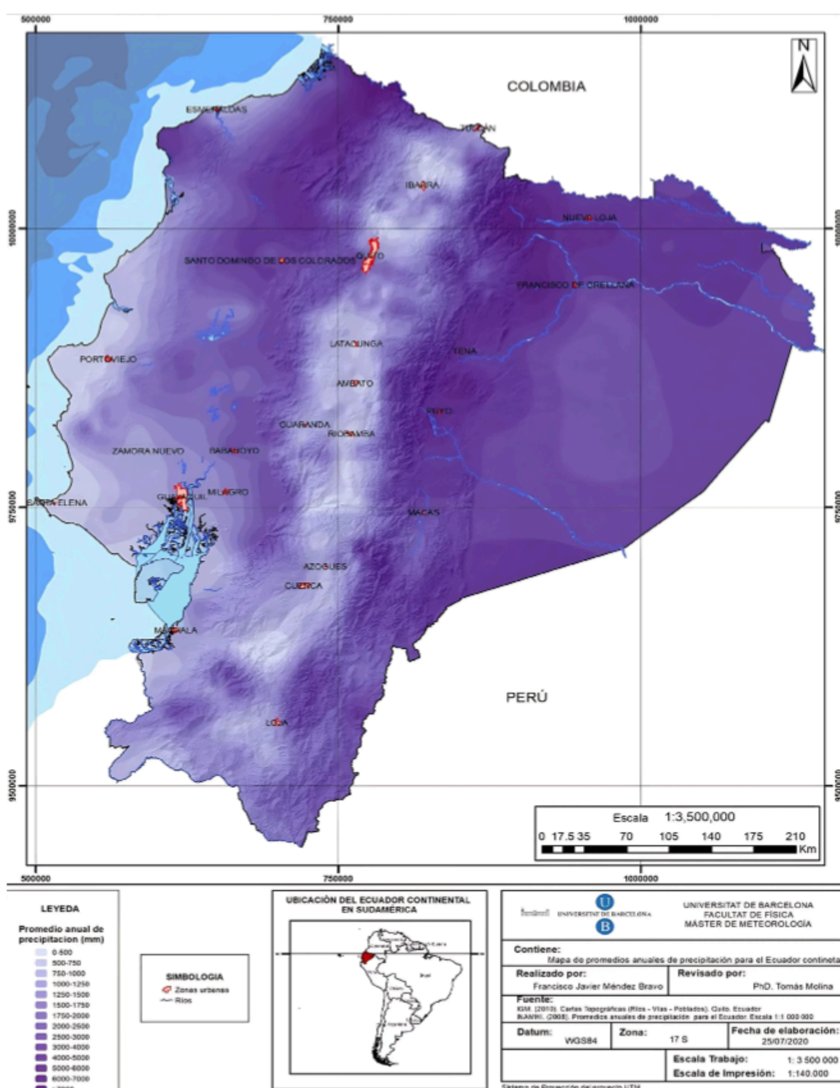


Figura 2. Mapa de promedio anual de precipitación del Ecuador continental para el año 2008. Información proporcionada por [19] y [22]. Mapa elaborado por: MSc Francisco Javier Méndez Bravo.

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



En materia de recursos hídricos, Ecuador es un país abundante. La escorrentía específica anual alcanza aproximadamente los 1650.7 mm/año, cifra superior a la media mundial de 300 mm/año [23]. Debido a características ambientales, demográficas y socioeconómicas particulares, su población es vulnerable a fenómenos hidrometeorológicos tales como inundaciones, deslizamientos y sequías [24]. Del total de desastres naturales que afectaron al país en su historia, el 59 % fueron de origen climático. Se registraron inundaciones y sequías, lo que derivó en pérdida de vidas y bienes en la población [25].

La costa oeste de Sudamérica no dispone de un monitoreo sistemático a largo plazo de variables meteorológicas. El viento en superficie, una de las variables más importantes para este estudio, no es monitoreado [26]. Por su parte, el Ecuador dispone de una red de estaciones meteorológicas limitada y distribuida de forma irregular por el territorio nacional, y no dispone de radares meteorológicos [7].

El objetivo de la presente investigación es analizar casos de estudio sobre la afectación al Ecuador continental de las principales situaciones climatológicas de la zona, antes mencionadas: Zona de convergencia intertropical (ZCIT), Anticiclón del Pacífico Sudoriental (APSor), Anticiclón del Atlántico Norte (AAN), Anticiclón del Atlántico Sur (AAS); además de los fenómenos El Niño y El Veranillo del Niño para elaborar una clasificación de situaciones sinópticas específicas en superficie que afectan al Ecuador continental.

METODOLOGÍA

En este trabajo se estudiaron algunas de las principales características climatológicas y de fenómenos meteorológicos que afectan al Ecuador continental. Se ha utilizado la rosa de los vientos como herramienta de análisis de nuestros casos de estudio de situaciones sinópticas típicas de la zona [11].

Considerando los limitados datos climáticos propios del Ecuador, nuestro estudio se realizó utilizando los reanálisis ERA-Interim producido por el *Centro Europeo de Pronóstico Meteorológico a Medio Plazo (ECMWF)*. Los reanálisis asimilan datos en superficie y en la vertical; además, utilizan los satélites para proporcionar la mejor aproximación del estado atmosférico, múltiples veces al día. Se encuentran disponibles al público por periodos de varias décadas desde 1979 hasta 2019 [27].

Se analizó la circulación general atmosférica y se identificaron las principales características climatológicas de Sudamérica Tropical que influyen en la climatología sinóptica del Ecuador [28]. Se estudiaron las migraciones estacionales de cada característica climatológica y se determinaron las ubicaciones y extensiones promedio más extremas.

De manera particular, se analizó el comportamiento de la Oscilación del Sur, en su fase positiva, fenómeno El Niño, y su influencia en la climatología sinóptica del Ecuador. De la misma manera, se estudió el fenómeno Veranillo del Niño y se identificaron los periodos de máxima intensidad de estos fenómenos meteorológicos [29].

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



A través de la literatura consultada, enmarcamos en nuestra área de estudio las principales características climatológicas que afectan al Ecuador continental y la ubicación e intensidad de cada característica como consecuencia de su migración estacional (ver tablas 1 y 2) [8, 10, 11, 13].

TABLA 1. Ubicación media de las principales características climatológicas de Sudamérica Tropical que influyen en el Ecuador continental, en función de su migración estacional. El color rojo identifica el invierno austral, el azul el verano austral y el gris el período de transición del verano a invierno.

	Norte máximo	Intermedio	Sur máximo
ZCIT	Invierno austral	Transición	Verano austral
APSor	Invierno austral	Transición	Verano austral
AAN	Verano austral	Transición	Invierno austral
AAS	Invierno austral	Transición	Verano austral

TABLA 2. Intensidad media de las principales características climatológicas de Sudamérica Tropical que influyen en el Ecuador continental, en función de su migración estacional. El color rojo identifica el invierno austral, el azul el verano austral y el gris el período de transición del verano a invierno.

	Intensidad máxima	Intermedia	Intensidad mínima
ZCIT	Invierno austral	Transición	Verano austral
APSor	Invierno austral	Transición	Verano austral
AAN	Invierno austral	Transición	Verano austral
AAS	Invierno austral	Transición	Verano austral

Se identificaron dos situaciones sinópticas en superficie para episodios relevantes en Ecuador continental de El Niño y Veranillo del Niño.

En el año 1998, se registró uno de los Fenómenos de El Niño más intensos de las últimas décadas del Ecuador. Afectó principalmente a la Costa del país, con precipitaciones intensas que ocasionaron desastres naturales [18].

En el año 2000, en el sur del país, se registró uno de los más marcados Veranillo del Niño, que ocasionó sequías en esta región [15].

Para el estudio de las características climatológicas referidas en las Tablas 1 y 2, se eligieron los años 2018 y 2019, ya que comprenden los últimos años del conjunto de datos del reanálisis ERA-Interim del ECMWF. Estos constituyen los datos más actuales y completos hasta la fecha de elaboración de la presente investigación.

El presente trabajo se realizó utilizando los datos diarios de los meses de febrero, marzo, agosto y noviembre de las variables meteorológicas de interés. Se trabajó con los años 1998, 2000, 2018 y 2019, y se identificaron y escogieron las situaciones sinópticas en superficie más representativas para la región Costa y Oriente del Ecuador.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



En principio, se trabajó con los reanálisis atmosféricos más antiguos, pertenecientes al NCEP/NCAR de la *Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos* (NOAA), cuyo paso de malla es de 2.5° (aproximadamente 250 km) [30].

Posteriormente, para mejorar la resolución espacial de los datos, se trabajó con los reanálisis del ECMWF que presentan un paso de malla de 0.75° (aproximadamente 80 km). Dado que el estudio es de escala sinóptica y abarca el análisis de características climatológicas, dicha resolución espacial es adecuada para satisfacer las necesidades del trabajo.

Los datos de los reanálisis ERA-Interim se obtuvieron con una resolución espacial de 0.75° x 0.75°. Los datos extraídos son diarios para las 18:00 UTC (12:00 hora local del Ecuador continental) tanto como para las componentes horizontales del viento *u* y *v* a 10 metros, así como para la presión atmosférica en superficie. Los datos fueron obtenidos en formato netCDF.

La visualización de los datos de cada variable meteorológica se realizó utilizando el programa Panoply versión 4.11.6, elaborado por el *Instituto Goddard de Estudios Espaciales de la Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio de los Estados Unidos de Norte América* (NASA).

Panoply es un visor de datos netCDF, que permite visualizar datos de variables meteorológicas en mapas y los guarda en imágenes JPG o como archivos gráficos PDF. Este programa presenta una herramienta que combina dos matrices georreferenciadas de datos, en una sola matriz de datos. Esto lo consigue al procesar cada dato a través de un determinado algoritmo como diferenciar, sumar o promediar.

Utilizando esta herramienta se elaboraron los mapas de vectores de viento horizontal a 10 metros, combinando las matrices de las componentes horizontales *u* y *v* del viento. Los mapas de presión en superficie se realizaron visualizando cada variable en el programa.

Se elaboraron mapas a escala regional (Sudamérica tropical) y luego a escala local (Ecuador continental), posteriormente y de estos mapas, se seleccionaron los mapas apropiados para cada caso de estudio específico correspondiente a cada situación sinóptica típica en superficie propia del Ecuador continental.

Estos mapas de vectores del viento en superficie constituyen una herramienta útil para elaborar pronósticos meteorológicos orientativos a escala sinóptica. Si se determinan las advecciones típicas en superficie del oeste en la Costa y del este en el Oriente del Ecuador, que alcanzan a la cordillera de los Andes, es posible identificar ascensos orográficos y áreas propensas a precipitaciones.

La selección de cada caso de estudio específico de situaciones sinópticas es de tipo subjetivo. Así, se presenta un conjunto de situaciones sinópticas que los investigadores identificaron mediante el estudio de las principales características climatológicas y fenómenos meteorológicos en superficie de Sudamérica Tropical, los cuales influyen de forma particular en la región Costa y Oriente del Ecuador continental. Además, se consideraron los patrones estacionales de las características climatológicas y fenómenos meteorológicos.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



Se identificaron patrones en la migración latitudinal del Anticiclón del Pacífico Sudoriental (APSor), que están sincronizados al desplazamiento latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). De igual manera, se incorporó al análisis los anticiclones del Atlántico Norte y Sur que están sincronizados estacionalmente a la dinámica del APSor y la ZCIT.

Debido a sus condiciones particulares, tanto el fenómeno El Niño como El Veranillo del Niño fueron analizados de forma particular. Sus situaciones sinópticas en superficie se incorporaron y se analizaron las posibles configuraciones de las características climatológicas sinópticas que dieron lugar a estos eventos.

RESULTADOS

Análisis de casos de situaciones sinópticas específicas en superficie que afectan al Ecuador continental

El análisis se realizó en función de la migración estacional de las principales características climatológicas y de los fenómenos meteorológicos que más influyen en Ecuador continental.

Se consideraron y analizaron como zonas particulares e independientes a la región Costa y Oriente ecuatoriano. Aunque las dos zonas se representen en un mismo mapa, cada una fue estudiada de manera independiente.

Como se observa en la Figura 3, en función de la migración estacional de las principales características climatológicas, se identificaron cinco situaciones sinópticas específicas en superficie del: noreste, este, sudeste, sudoeste, noroeste.

Al mismo tiempo, en función de los fenómenos meteorológicos que más influyen en el Ecuador continental, se identificaron dos situaciones sinópticas específicas en superficie: una del norte y la otra del oeste.

En total, se obtuvieron siete situaciones sinópticas específicas del viento en superficie. Estas se producen en la región Costa o en el Oriente del Ecuador. En los casos de estudio analizados, no apareció ninguna situación de viento del sur. A continuación, se presenta el análisis climatológico sinóptico que sustenta la existencia de cada una de las situaciones sinópticas específicas indicadas en la Figura 3.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829

aci
avances
en ciencias e
ingenierías

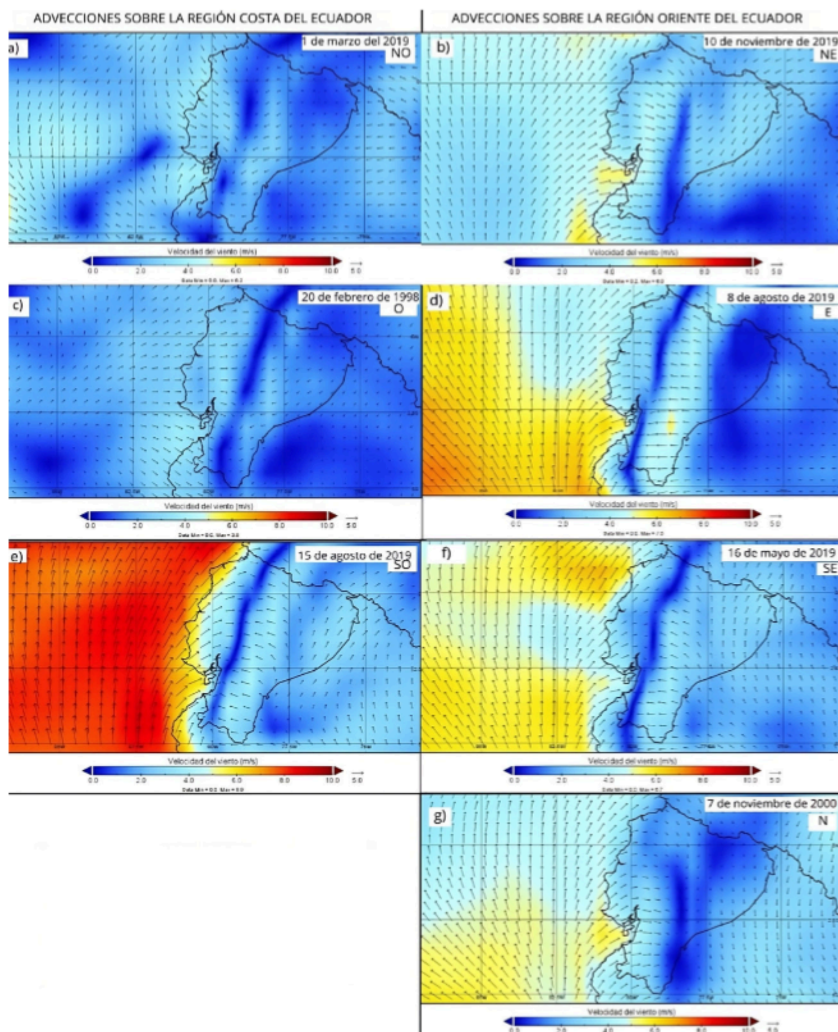


Figura 3. Clasificación de situaciones sinópticas en superficie para el Ecuador continental. Mapas de vectores de velocidad y dirección del viento en superficie del Ecuador para cada fecha, a las 13:00 h (Ecuador continental). Información obtenida de los reanálisis ERA Interim (ECMWF). a) Advección del NO en la Costa del Ecuador; b) Advección del NE en el Oriente del Ecuador; c) Advección del O en la costa del Ecuador; d) Advección del E en el Oriente del Ecuador; e) Advección del SO en la Costa del Ecuador; f) Advección del SE en el Oriente del Ecuador; g) Advección del N en el Oriente del Ecuador. Mapas elaborados por MSc Francisco Javier Méndez Bravo.

Situaciones sinópticas en superficie, en función de la migración estacional

Situaciones de verano austral

Para el verano austral, se observó sobre la región Costa del Ecuador, el dominio de la advección del noroeste (NO).

Advección del noroeste (NO)

Como se observa en la Figura 4, el centro del APSor se localiza en su posición sur máximo con intensidad mínima. El centro del AAN se encuentra al norte, debilitado en su parte occidental. La configuración sinóptica la completa el AAS, que localiza su centro en su sur máximo y su intensidad es mínima.

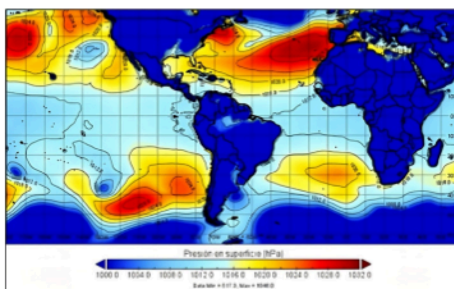


Figura 4. Presión atmosférica en superficie normalizada de Sudamérica Tropical para el 1 de marzo de 2019 a las 13:00 h (Ecuador continental). Información obtenida de los reanálisis ERA- Interim. Mapa elaborado por MSc Francisco Javier Méndez Bravo.

La Figura 5 describe la posición de la ZCIT sobre el océano Pacífico Oriental, y se ubica en su sur máximo con intensidad mínima.

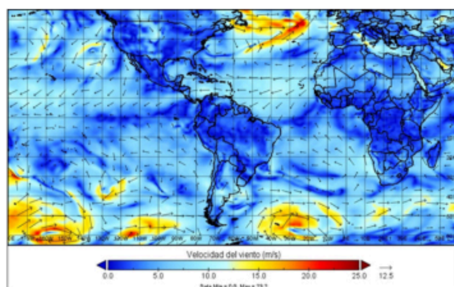


Figura 5. Vectores de velocidad y dirección del viento en Sudamérica Tropical para el 1 de marzo de 2019 a las 13:00 h (Ecuador continental). Información obtenida de los reanálisis ERA- Interim. Mapa elaborado por MSc Francisco Javier Méndez Bravo.

Como se observa en la Figura 3 a), con la ubicación e intensidad de los anticiclones y de la ZCIT descrita anteriormente, en la región Costa del Ecuador, el 1 de marzo de 2019, se describe la presencia de advección del NO.

Situaciones de invierno austral

Durante el invierno austral se evidenciaron dos advecciones de viento en superficie del este y del suroeste.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829

Como se observa en la Figura 3 d), la advección del este es un caso particular que sucede sobre la región amazónica del Ecuador. Este es el resultado estacional del comportamiento de los anticiclones del océano Atlántico entre los meses de julio y agosto, cuando alcanzan su mayor extensión e intensidad.

El centro del AAN se ubica en su posición sur máximo y el del AAS su norte máximo. La proximidad entre los dos anticiclones en el océano Atlántico genera flujo de viento superficial del este que alcanza la Amazonía ecuatoriana.

A continuación, como ejemplo de una situación de invierno austral, se describe la advección del SO.

Advección del Suroeste (SO)

Como se observa en la Figura 6, el centro del APSor se localiza en su norte máximo con intensidad máxima. El centro del AAN se encuentra al sur en su parte oriental, fortalecido, y el centro del AAS localiza su centro en el norte máximo y su intensidad es máxima.

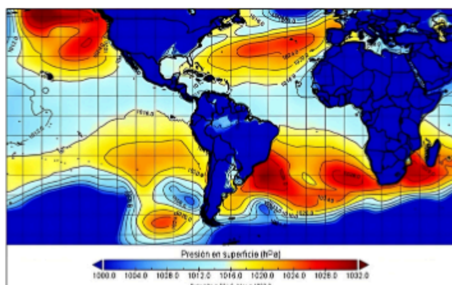


Figura 6. Presión atmosférica en superficie normalizada de Sudamérica Tropical para el 15 de agosto de 2019 a las 13:00 h (Ecuador continental). Información de los reanálisis ERA- Interim. Mapa elaborado por MSc Francisco Javier Méndez Bravo.

En la Figura 7, la ZCIT se ubica sobre el Pacífico Oriental en su norte máximo con intensidad máxima. El 15 de agosto de 2019 a las 13:00 h, se observó la ubicación e intensidad de los anticiclones y de la ZCIT descrita anteriormente.

Como se observa en la Figura 3 e), y como resultado de esta configuración sinóptica, sobre la región Costa del Ecuador se obtuvo una advección en superficie del suroeste (SO), provenientes del océano Pacífico.

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829

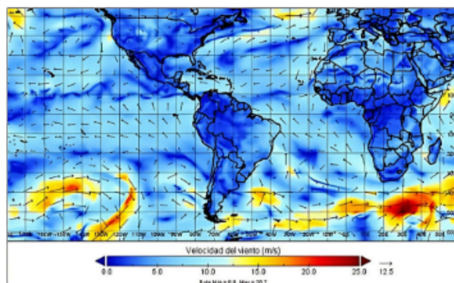


Figura 7. Vectores de velocidad y dirección del viento de Sudamérica Tropical para el 15 de agosto de 2019 a las 13:00 h (Ecuador continental). Información de los reanálisis ERA- Interim. Mapa elaborado por MSc Francisco Javier Méndez Bravo.

Situaciones de transición estacional

En primavera austral se observó advecciones en superficie del noreste (NE) y en el otoño austral advecciones de viento en superficie sudeste (SE), los denominados "vientos alisios". Estas situaciones afectaron a la región amazónica.

A continuación, como ejemplo, se describe la advección del noreste (NE).

Advección del Noreste (NE)

En la Figura 8, se observa al centro del APSor, AAN y AAN localizados en posición intermedia y con intensidad media. El AAN se encuentra dividido en dos anticiclones de intensidad media.

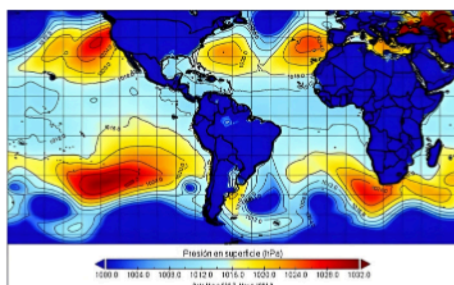


Figura 8. Presión atmosférica en superficie normalizada en Sudamérica Tropical para el 10 de noviembre de 2019 a las 13:00 h (Ecuador continental). Información de los reanálisis ERA- Interim. Mapa elaborado por MSc Francisco Javier Méndez Bravo.

La Figura 9, muestra la ZCIT en el Pacífico Oriental en posición intermedia con intensidad media.

En la Figura 3 b), el 10 de noviembre de 2019 a las 13:00 h, se observa esta situación sinóptica en superficie del NE, sobre la región amazónica del Ecuador.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829

aci
avances
en ciencias e
ingenierías

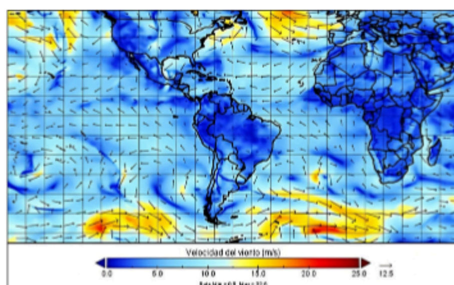


Figura 9. Vectores de velocidad y dirección del viento en Sudamérica Tropical para el 10 de noviembre de 2019 a las 13:00 h (Ecuador continental). Información de los Reanálisis ERA- Interim. Mapa elaborado por MSc Francisco Javier Méndez Bravo.

Situaciones sinópticas en superficie en función de los fenómenos meteorológicos

Se observaron dos advecciones: la primera del oeste sobre la Costa ecuatoriana durante el fenómeno de El Niño de 1998 y la segunda del norte en la región suroriente del país durante el fenómeno El Veranillo del Niño.

Situaciones sinópticas durante El Niño

La Figura 10 muestra el núcleo del APSor en su posición sur máxima. Este presenta una forma alargada zonalmente y se observa avance limitado sobre las costas de Sudamérica.

El AAN y AAS se localizan en su posición intermedia y presentan intensidad media. La ZCIT se ubica sobre el Ecuador con máxima intensidad.

Con estas características climatológicas configuradas, y como se observa en la Figura 3 c), el 20 de febrero de 1998, en la Costa del Ecuador se observó advección del oeste (O).

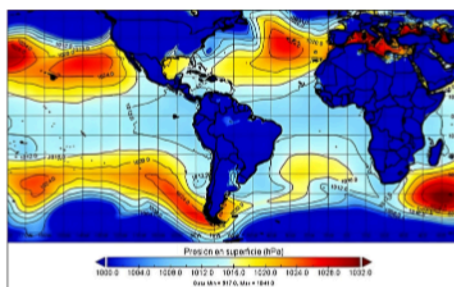


Figura 10. Presión atmosférica en superficie normalizada en Sudamérica Tropical para el 20 de febrero de 1998 a las 13:00 h (Ecuador continental). Información de los reanálisis ERA- Interim. Mapa elaborado por MSc Francisco Javier Méndez Bravo.

Situaciones sinópticas del Veranillo del Niño

La Figura 11 muestra el centro del APSor ubicado en su posición intermedia con intensidad media. El AAN se localiza en su norte máximo totalmente debilitado, mientras que el AAS está en su posición sur máxima con intensidad baja.

DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829

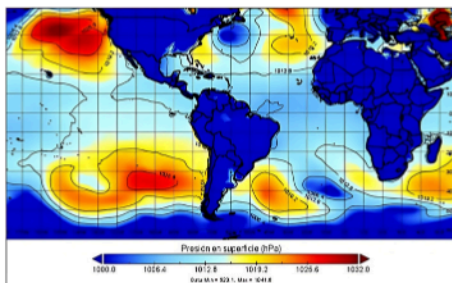


Figura 11. Presión atmosférica en superficie normalizada en Sudamérica Tropical para el 7 de noviembre del 2000 a las 13:00 h (Ecuador continental). Información de los reanálisis ERA- Interim. Mapa elaborado por MSc Francisco Javier Méndez Bravo.

La ZCIT sobre el océano Pacífico Oriental se encuentra desfigurada y con intensidad media. Como se observa en la Figura 3 g), el 7 de noviembre de 2000, en la región suroriente del Ecuador se registró advección del norte (N).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A la luz del análisis de los resultados obtenidos para nuestros casos de estudio, se elaboró una clasificación de situaciones sinópticas específicas en superficie que afectan al Ecuador continental. En la línea de otros autores que han presentado resultados para latitudes medias [6], este trabajo se centra en latitudes tropicales y en un menor número de datos disponibles. Al igual que otros estudios sobre climatología sinóptica en latitudes tropicales, se buscó la influencia cercana de los anticiclones semipermanentes que influyen en el clima del Ecuador y en la dirección del viento en superficie en el Ecuador continental [31] y [32].

La cordillera de los Andes, se consolida como una verdadera barrera orográfica, que obstaculiza la libre circulación zonal del viento en superficie en el Ecuador continental. Su localización geográfica y su elevada altitud (1000-6242 m.s.n.m.) divide al Ecuador continental en tres zonas climáticas independientes: la Costa, la Sierra y el Oriente.

A pesar de la distancia a la que se localizan las principales características climatológicas de Sudamérica Tropical (ZCIT, APSor, AAN y AAS), estas influyen de forma directa en la configuración sinóptica del viento en superficie del Ecuador continental.

Se evidencia la existencia de un patrón estacional en el comportamiento de las características climatológicas (Ver tabla 3). De manera sincrónica, en el invierno austral, todas las características presentan intensidad máxima, en el verano austral presentan intensidad mínima y en periodo de transición entre el verano/invierno austral presentan intensidad media.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



TABLA 3. Situaciones sinópticas específicas en superficie relacionadas con las características climatológicas en función de su migración estacional.

Característica climatológica	UBICACIÓN			INTENSIDAD			ESTACIÓN	ADVECCIÓN COSTA	ADVECCIÓN ORIENTE
	Norte máximo	Intermedia	Sur máximo	Máxima	Media	Mínima			
ZCIT							Invierno Austral	SO	E
APS									
AAN									
AAS									
ZCIT							Transición	NO, SO	NE, SE
APS									
AAN									
AAS									
ZCIT							Verano Austral	NO	NE
APS									
AAN									
AAS									

Esta tabla relaciona la ubicación e intensidad de cada característica climatológica en función de la estación del año. El color rojo identifica al invierno austral, el azul al verano austral, el gris identifica el periodo de transición entre el invierno y el verano. Las letras en mayúsculas son acrónimos de cada característica climatológica.

De manera estacional y sincrónica, las características climatológicas determinan cinco situaciones sinópticas específicas de viento en superficie en función del verano austral, invierno austral y el periodo de transición invierno/verano. Determinan advecciones del SO y NO en la región Costa y NE, E y SE en el Oriente del Ecuador.

Las principales situaciones sinópticas de viento en superficie propias del invierno austral son dos: advecciones del SO y E. El invierno austral, en promedio, se caracteriza por presentar los anticiclones subtropicales (AAN y AAS) con máxima intensidad y localizados de forma extensa orientados hacia la línea equinoccial. La ZCIT se ubica en su posición norte máximo con intensidad máxima.

El verano austral presenta principalmente situaciones sinópticas de viento en superficie del NO sobre la Costa ecuatoriana. Los anticiclones subtropicales (AAN y AAS) se disponen alejados de la línea equinoccial, cubren áreas de poca extensión y se encuentran debilitados en intensidad. La ZCIT se ubica en su posición sur máximo con intensidad mínima.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



El periodo de transición entre el invierno y el verano austral implicó la presencia de situaciones sinópticas de viento en superficie del NE y SE (vientos alisios) sobre el Oriente ecuatoriano. La primavera austral registró advecciones del NE, mientras que el otoño austral registró advecciones del SE. La ZCIT y los anticiclones subtropicales (AAN y AAS) presentaron intensidad media.

Dentro del objetivo del análisis de casos de estudio para los fenómenos de El Niño y el Veranillo del Niño, en la línea de otros autores analizamos las principales situaciones climáticas de la zona y el viento en superficie para caracterizar dichos fenómenos [33] y [34].

El fenómeno El Niño de febrero de 1998, presentó situaciones sinópticas del viento en superficie del O (situación propia de este fenómeno). La ZCIT se mostró fortalecida y se ubicó en el Ecuador. El APSor se encontró intenso en su sur máximo y los AAN y AAS presentaron posición intermedia.

El fenómeno La Niña produce advecciones del NE y SE en la Amazonía del Ecuador. No aportó a la clasificación con situaciones sinópticas en superficie nuevas.

El fenómeno Veranillo del Niño se caracterizó por presentar situaciones sinópticas de viento en superficie del N en el suroriente del Ecuador. Consecuencia de anticiclones subtropicales (AAN y AAS) debilitados y la ZCIT desfigurada con intensidad media.

De las situaciones sinópticas específicas de viento en superficie, no se encontró evidencia de la advección del Sur. Es posible que, analizando la climatología sinóptica en altura, como la disposición de dorsales y vaguadas subtropicales, la presencia ocasional de una baja en superficie sobre el noroccidente del Brasil, o la oscilación de Madden y Julian (MJO), se pueda identificar y caracterizar esta situación.

En el Ecuador continental no se han realizado trabajos de análisis de situaciones en mesoescala. En futuros trabajos, se pretende continuar analizando situaciones de mesoescala como la Alta de Bolivia y las perturbaciones (convección) de la Amazonía.

Analizar a detalle las situaciones en altura tales como: la vaguada ecuatorial, la corriente en chorro ecuatorial débil de nivel bajo del este, la corriente en chorro ecuatorial de nivel medio, la corriente en chorro de nivel bajo del norte y la oscilación de Madden y Julian (MJO), y complementar el presente estudio con este análisis, conseguiría unificar y comprender las situaciones sinópticas en superficie para el Ecuador.

En el presente trabajo se realizó la caracterización climatológica analizando sólo situaciones sinópticas en superficie y de gran extensión. Cabe mencionar el interés personal y la importancia de continuar con la investigación en este campo de la climatología sinóptica en el Ecuador.

CONTRIBUCIONES DE AUTORES

Diseño y conceptualización: Tomàs Molina Bosch y Francisco Javier Méndez Bravo.
Adquisición de datos: Francisco Javier Méndez Bravo.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



Análisis e Interpretación de datos: Tomàs Molina Bosch y Francisco Javier Méndez Bravo.
Redacción del artículo: Francisco Javier Méndez Bravo.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores manifiestan que no hay conflicto de intereses en esta investigación y que no ha habido financiación externa para esta investigación. No existe ningún interés financiero ni no financiero que declarar. Todos los autores han leído y aprobado el manuscrito final y consienten en su publicación.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829

REFERENCIAS

[1] Alessandro, A. P. (1998). *Contribuciones al estudio de la climatología sinóptica en la Argentina* (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales) https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/greenstone3/exa/collection/tesis/document/tesis_n3091_Alessandro

[2] Martín Vide, J., & Olcina, J. (2001). *Climas y tiempos de España*. Madrid: Alianza Editorial.

[3] Hewitson, B., & Crane, R. (2002). Self-organizing maps: Applications to synoptic climatology. *Climate Research, 22*(1), 13–26. https://www.int-res.com/abstracts/cr/v22/n1/p13-26/

[4] Tullot, I. F. (2000). *Climatología de España y Portugal*. Universidad de Salamanca.

[5] Albentosa, L. (1976). Climatología dinámica, sinóptica o sintética. Origen y desarrollo. *Revista de Geografía, 10*(1-2), 10-15. https://www.raco.cat/index.php/RevistaGeografia/article/download/45713/56702

[6] Martín Vide, J. (2005). *Los mapas del tiempo*. Davinci Continental.

[7] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2014). *Lo que debemos saber sobre meteorología*. INAMHI. https://es.scribd.com/document/422431595/Lo-Que-Debemos-Saber-Sobre-Metorologia-INAMHI-2014

[8] Satyamurty, P., & Rosa, M. (2019). Synoptic climatology of tropical and subtropical South America and adjoining seas as inferred from Geostationary Operational Environmental Satellite imagery. *International Journal of Climatology, 40*(1), 378–399. https://doi.org/10.1002/joc.6217

[9] Waliser, D. E., & Gautier, C. (1993). A satellite-derived climatology of the ITCZ. *Journal of climate, 6*(11), 2162-2174. https://www.jstor.org/stable/26198602

[10] Wang, C. C., & Magnusdottir, G. (2006). The ITCZ in the central and eastern Pacific on synoptic time scales. *Monthly Weather Review, 134*(5), 1405-1421. https://doi.org/10.1175/MWR3130.1

[11] Rahn, D. A., & Garreaud, R. D. (2014). A synoptic climatology of the near-surface wind along the west coast of South America. *International Journal of Climatology, 34*(3). https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.3724

[12] Halpern, D. (2002). *An atlas of monthly mean distributions of SSMI wind speed, AVHRR sea surface temperature, TMI sea surface temperature, QuikSCAT ocean vector wind, SeaWiFS Chlorophyll-a, and TOPEX/POSEIDON sea surface topography during 2001* (Vol. 2). National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory. https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19950004463/downloads/19950004463.pdf

[13] Rodwell, M. J., & Hoskins, B. J. (2001). Subtropical anticyclones and summer monsoons. *Journal of Climate, 14*(15), 3192-3211. https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/14/15/1520-0442_2001_014_3192_saasm_2.0.co_2.xml

[14] American Meteorological Society. (10 October 2022). *Equatorial easterlies.* Glossary of Meteorology. https://glossary.ametsoc.org/wiki/Equatorial_easterlies.

[15] Emck, P. (2007). *A climatology of south Ecuador-with special focus on the major Andean ridge as Atlantic-Pacific climate divide* (Doctoral dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg).

[16] Andreoli, R. V., de Oliveira, S. S., Kayano, M. T., Viegas, J., de Souza, R. A. F., & Candido, L. A. (2017). The influence of different El Niño types on the South American rainfall. *International Journal of Climatology, 37(3)*.

[17] Larkin, N. K., & Harrison, D. E. (2002). ENSO warm (El Niño) and cold (La Niña) event life cycles: Ocean surface anomaly patterns, their symmetries, asymmetries, and implications. *Journal of climate, 15*(10). https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1118:EWENOA>2.0.CO;2

[18] Corporación Andina de Fomento. (2000). *El Fenómeno El Niño 1997-1998. Memoria, retos y soluciones* (Vol. 4). Equipo de Dirección y Coordinación Técnica CAF.

[19] Instituto Geográfico Militar. (2010). *Cartas topográficas del Ecuador (ríos, vías y poblados)*: Escala 1:50 000. IGM.

[20] Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2016). *Modelo Digital de Terreno del Ecuador Resolución Espacial 50 metros*. MAGAP.

[21] Instituto Geográfico Militar. (2013). *Atlas geográfico de la república del Ecuador*. IGM.

[22] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2008). *Promedios anuales de precipitación para el Ecuador. Escala 1: 1.000.000.* INAMHI.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v17i1.2829



[23] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). *Anuario Meteorológico N° 52-2012*. INAMHI. https://es.slideshare.net/slideshow/am-2012/77446693

[24] Nuñez Cobo, J., & Verbist, K. (2018). *Atlas de sequías de América Latina y el Caribe*. UNESCO Publishing.

[25] Secretaría de Gestión de Riesgos del Ecuador. (2018). *Plan nacional de respuesta ante desastres*.https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Plan-Nacional-de-Respuesta-SGR-RespondeEC.pdf

[26] Woodruff, S., Worley, S., Lubker, S., Ji, Z. Freeman, J., Berry, D., Brohan, P., Kent, E., Reynolds, R., Smith, S., & Wilkinson, C. (2011). ICOADS Release 2.5; extensions and enhancements to the surface marine meteorological archive. *International Journal of Climatology,* 31. https://digitalcommons.unl.edu/usdeptcommercepub/332/

[27] Saha, S., Moorthi S., Pan, H., Wu, X., Wang, J., S, Nadiga., Tripp, P., Kistler, R., Woollen, J., Behringer, D., Liu, H., Stokes, D., Grumbine, R., Gayno, G., Wang, J., Hou, Y., Chuang, H., H. Juang, H., Sela, J… Goldberg, M. (2010). The NCEP climate forecast system reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society, 91*(8), 1015-1058. https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/91/8/2010bams3001_1.xml

[28] Whelpdale, D. M., Low, T. B., & Kolomeychuk, R. J. (1984). Advection climatology for the east coast of North America. *Atmospheric Environment (1967), 18*(7). https://doi.org/10.1016/0004-6981(84)90040-4

[29] Alfaro, E. J. (2014). Caracterización del "veranillo" en dos cuencas de la vertiente del Pacífico de Costa Rica, América Central. *Revista de Biología Tropical, 62*(4), 1-15. https://www.redalyc.org/pdf/449/44958812002.pdf

[30] Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K. C., Ropelewski, C., Wang, J., ... & Joseph, D. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society, 77*(3) https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2

[31] Torres, E. S., Estela, L. B. L., Suárez, L. M. S., & Naranjo, Y. V. (2020) *Catálogo de los tipos de situaciones sinópticas que influyen sobre Cuba*. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, INSMET.

[32] Torres, E. S., Suárez, L. M. S., Naranjo, Y. V., & Estela, L. B. L. (2022). Caracterización sinóptico-climatológica de la rapidez media del viento en la costa norte de la mitad oriental de Cuba. *Revista cubana de meteorología, 28*(4). https://www.redalyc.org/journal/7019/701977562003/701977562003.pdf

[33] Paredes Orihuela, D. E. (2023). *Olas de calor en la región norte del Perú y su correlación con eventos ENSO (1979-2018)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias, Departamento Académico de Ingeniería Ambiental, Física y Meteorología https://hdl.handle.net/20.500.12996/5601 .

[34] Ogassawara, J. F., Nunes, A. B., & Riquetti, N. B. (2021). Eventos extremos de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Piratini: relação com Enos e estudo de caso. *Revista Brasileira de Climatologia, 28,* 342-364. https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14570